

신종감염병의 양적 및 질적 혼합 위험 평가 모델 개발

우다래^{1,2} · 최은미¹ · 최영준³ · 예정용⁴ · 박상신^{1,2}

¹서울시립대학교 도시보건대학원, ²서울시립대학교 도시빅데이터융합학과, ³고려대학교 안암병원 소아청소년과, ⁴인천대학교 생명과학기술대학 생명과학부

Development of a Risk Assessment Tool for Emerging Infectious Diseases

Darae Woo^{1,2}, Eunmi Choi¹, Young June Choe³, Jungyong Yeh⁴, Sangshin Park^{1,2}

¹Graduate School of Urban Public Health, University of Seoul; ²Department of Urban Big Data Convergence, University of Seoul; ³Department of Pediatrics, Korea University Anam Hospital, Seoul; ⁴Division of Life Sciences, College of Life Sciences and Bioengineering, Incheon National University, Incheon, Korea

Background: The emergence of new infectious diseases threatens public health, increasing socioeconomic damage, and national risks. This study aimed to develop an evidence-based risk assessment tool to quickly respond to new infectious diseases.

Methods: The risk elements were extracted by reviewing the risk assessment methods of the World Health Organization, United States, Europe, United Kingdom, and Germany, and the validity and priority of elements were determined through expert meetings and Delphi surveys. Then, the scale and level for each risk element were defined and a final score calculation method according to the risk evaluation result was derived. The developed risk assessment tool was verified using data at the time of domestic transmission of an emerging infectious disease.

Results: In case of spread of actual infectious diseases, priority is determined based on the criticality of the elements in each area of transmissibility and severity, from which the weighted score of the risk assessment is derived. Then, the risk score for each element was calculated by multiplying the average value of the risk evaluation by its weight and the evaluation risk assessment score for the two areas was calculated. At last, the final score is plotted in a matrix where the x-axis indicates the transmissibility and the y-axis the severity and plotted on the coordinate plane for time series use.

Conclusion: With respect to transmissibility and severity, this risk assessment method to respond to new and re-emerging infectious diseases enables rapid and evidence-based evaluation by quantitatively and qualitatively assessing various risk elements.

Keywords: Emerging communicable diseases; Risk assessment; Risk evaluation; Risk analysis

서 론

전 세계적으로 신종 및 원인불명 감염병, 인수공통 감염병이 지속적으로 출현하고 있으나 병원체 파악이 어렵고, 예방·치료제가 미비하여 인류의 건강을 위협하고 있다. 신종감염병(emerging infectious diseases)은 발생시기, 전파경로 등이 불명확하며 예방 및 치료수단이 없어 많은 사회적·경제적 피해를 발생시킨다. 신종 인플루엔자 A(H1N1)로 인한 경제적 부담은 약 1조 2천억 원대로 추정되며[1], 중

동호흡기증후군(Middle East respiratory syndrome, MERS)이 3개월간 지속되었다고 가정했을 시, 국내 전체 산업의 생산감소액은 4조 4,500억 원대에서 8조 1,000억 원대 사이로 추정되었다[2]. 세계보건기구(World Health Organization, WHO)에서는 2030-2050년 기후 변화에 따른 영양실조, 말라리아 등과 같은 위험요인으로 인해 25만 명의 연간 사망자가 발생할 것으로 전망하였다[3].

감염병 전파는 눈에 보이지 않지만 비말, 공기 등 다양한 경로를 통해 빠른 속도로 생물에게 전파 가능하다. 그러나 신종감염병의 발병

Correspondence to: Sangshin Park

Graduate School of Urban Public Health, University of Seoul, 163 Seoulsiripdae-ro, Dongdaemun-gu, Seoul 02504, Korea

Tel: +82-2-6490-6758, Fax: +82-2-6490-6754, E-mail: dvm.spark@gmail.com

* 이 논문은 2022년 질병관리청의 “미래 공중보건위기 대비 위험도 평가 고도화 연구”

결과보고서 중 국내 감염병 위험도 평가방법 개발 내용을 중심으로 내용, 표, 그림을 수정 및 보완하여 작성하였다.

Received: October 6, 2022, Revised: November 30, 2022, Accepted after revision: December 6, 2022

© Korean Academy of Health Policy and Management

© This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License

(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

시기와 의료 제공자, 실험실 및 보건 당국의 대응결정 간에는 시간 지연(latency)이 발생하게 된다. 이러한 지연을 최소화하기 위해 지속적인 데이터 수집, 분석 및 평가를 통해 신속한 공중보건 위기대응을 수행하는 것은 중요하다[4]. 2013년 에볼라바이러스병(Ebola virus disease, EVD) 발생 당시 실험실 확인은 첫 발생 시점으로부터 2.5개월 이후였으며, 이로 인해 질병 발생자 및 사망자 수가 증가하는 결과를 초래하였다[5]. 미국에서도 코로나바이러스감염증-19 (coronavirus disease 2019, COVID-19)에 대한 적절치 못한 초기 대응이 이루어져 공중보건위기로 치닫는 상황이 되었다[6]. 이처럼 감염병 발생에 대한 대응이 지연된다면 예방 가능한 이환율과 사망률의 증가를 초래할 수 있으며[7], 질병의 확산 등 사회적 손실이 발생할 수 있다.

위험평가는 공중보건의 위험수준을 측정하기 위해 자료를 수집하고 평가하는 일련의 과정이다. 위험평가의 결과는 준비, 복구, 대응과 같은 감염병 위기대응 의사결정에 근거가 되므로, 시기적절하고 정확한 위험도 평가는 필수적이다[8,9]. 그러나 감염병 발생 초기 단계에서는 사용할 수 있는 정보가 매우 제한적이며 불확실하기 때문에 종종 공식화되지 않은 방식으로 수행될 때도 있으며, 한 명 이상의 전문가간의 합의된 의견을 기반으로 결정하기도 한다[10]. 그러나 전문가 구성원의 주관적 평가에 따라 평가결과가 크게 변동될 가능성이 있다. 또한 정량적 평가만을 하는 경우, 사용 가능한 데이터의 유무, 문제의 복잡성과 같은 요인에 따라 일부 자료만으로 위험도를 평가할 경우 과학적인 근거가 불충분할 수 있다[11]. 따라서 위험도 평가는 짧은 시간 내에 정확하게 실시되어야 하는 평가로, 객관적 수치정보를 통한 양적 평가와 전문가의 경험 등의 지식을 사용한 질적 평가가 접목되어 불확실성을 낮춘 판단을 통해 위험도를 결정해야 한다.

국내에서 연구된 감염병 위험도 평가도구는 2016년 공중보건위기 대응사업단에서 확산 가능성, 영향, 불확실성, 치료예방 가능성, 대중

의 관심을 평가지표로 선정하였으며, 평가기준을 세분화하여 각 항목의 가중치를 5점 또는 10점으로 둔 평가방법을 개발하였다[12,13]. 2018년 질병관리청에서는 국내 유입 가능성이 높은 감염병의 위험도 평가 실시를 위해 외국의 위험도 평가방법을 기반으로 위험도 평가도구를 개발하였으며, 질적 위험도 평가에 사용된 알고리즘 템플릿을 제시하였다[14]. 그러나 현재 국내에서 적용되고 있는 위험도 평가방법은 상황의 심각성, 정부의 대응능력 등 평가지표 자료에 근거하여 전문가 회의를 통해 결정되는 것으로 알려져 있으나[15], 이외에 적용되는 평가도구와 세부 평가기준 등은 확립되어 있지 않다. 이에 해외 국가 및 기관에서 신종감염병 대응을 위해 활용하고 있는 방법을 검토하고 국내에서 적용할 수 있는 신속위험도 평가방법을 개발하여 제안하고자 한다.

방 법

본 연구에서는 WHO, 미국 질병예방통제센터(Centers for Disease Control and Prevention, CDC), 유럽 질병예방통제센터(European Centre for Disease prevention and Control, ECDC), 영국 인수감염 및 위험 감시(Human Animal Infections and Risk Surveillance, HAIRS) 그룹, 독일 로버트 코흐 연구소(Robert Koch Institute)에서 활용되고 있는 감염병 위험도 평가도구 총 7개를 검토하였다. 이를 기반으로 국내 신종감염병의 위험도를 파악하기 위한 평가도구를 개발하고자 하였다. 전반적인 개발과정은 해외 국가 및 기관의 위험도 평가도구 자료수집, 평가지표 및 평가 측면(perspectives) 구성, 평가지표의 타당도 및 중요도 평가, 평가지표의 척도 선정, 평가점수 산출방법 도출, 위험도 결정방법 도출, 모델 검증 순으로 이루어졌다(Figure 1).

Data collection	Composition of assessment indicators and perspectives	Validity evaluation and prioritization	Development of risk assessment scale	Derivation of risk assessment score calculation	Derivation of risk level determination method	Verification
Collection of emerging infectious disease risk assessment elements of major countries (Europe, United States, United Kingdom, Germany) and institutions (World Health Organization)	Review of a total of 80 risk assessment elements and selection of 13 draft elements and evaluation perspectives using expert advisory meeting	Confirmation of elements validity and prioritization using Delphi method	Development of a scale for each element and setting the scope for calculation of risk assessment scores	Calculation of final score according to risk assessment	Expression of risk matrix and coordinate plane	Consistency evaluation (coronavirus disease 2019, influenza A virus (H1N1), Middle East respiratory syndrome, Ebola virus disease)

Figure 1. Framework development process.

1. 해외 국가 및 기관의 위험도 평가도구 자료수집

본 연구에서는 WHO 및 4개 국가의 총 7개의 위험도 평가도구의 방법 및 지표를 검토하였다. 전 세계의 감염병 위기대응 전략을 권고하는 WHO와 감염병 위기대응체계가 수립된 해외 국가 중 감염병 위험도 평가도구 자료가 공개된 유럽, 미국, 영국, 독일의 위험도 평가방법을 확인하였다. 각 기관 및 국가에서는 감염병 위험도를 평가하고 대응하기 위하여 개별적으로 개발한 위험도 평가도구를 사용하고 있다. WHO의 Strategic Toolkit for Assessing Risks (STAR)는 공중보건 위험에 대한 증거 기반 평가를 위해 수행되며[16], Tool for Influenza Pandemic Risk Assessment (TIPRA)는 대유행 가능성이 있는 인플루엔자 바이러스의 위험을 평가하기 위해 활용된다[17]. ECDC에서는 Rapid Risk Assessment methodology (RRA)를 활용하여 유럽 내외의 전파 가능성 및 영향력을 확인하여 위험도를 평가하였다[8]. CDC의 Influenza Risk Assessment Tool (IRAT)은 인플루엔자 바이러스가 인간에게 퍼질 수 있는지를 확인하고 팬데믹 기간에 공중보건의 영향을 미칠 수 있는 요인을 확인하고자 수행되며[18], Pandemic Severity Assessment Framework (PSAF) 또한 인플루엔자 바이러스가 사람에게 얼마나 위협한지 결정하기 위해 평가도구로 사용된다[19]. 영국의 정부 부처 간 그룹인 HAIRS 그룹에서는 인수공통감염병 측면의 위험도 평가를 위해 “processes of risk assessment”를 수행하며[20], 독일에서는 연방 정부기관인 로버트 코흐 연구소(Robert Koch Institute)에서 개발된 인플루엔자 대유행의 중증도 평가도구인 Pandemic Influenza Severity Assessment tool을 활용하여 대응한다[21].

2. 위험도 평가지표 및 평가 측면 구성

위험도 평가지표 및 평가 측면 선정에 대해 초안을 구성하고 전문가의 자문회의를 통해 의견을 수렴하였다. 우선 선정된 7개의 위험도 평가도구의 지표 총 80개를 나열 후, 지표의 개념 및 의미를 분석하고 특성이 유사한 지표의 상위개념을 대분류로 나누어 위험도 평가 측면을 전파력과 심각성으로 구성하고, 해당 측면을 평가하기 위해 사용되는 초안 지표들을 나누었다. 이후 국가기관과 협업 수행경험이 있으며 임상 및 감염병 관련 분야에서 10년 이상의 실무 경험이 있는 감염내과 및 가정의학과 전문의 3명을 대상으로 초안 지표가 감염병 위험성을 평가하기 적절한지, 평가 측면의 구성이 실제 위험도 평가 시 타당성을 갖는지에 대한 질적 평가를 요청하였다. 3월 18일부터 3월 25일 중 각 전문가와 개별 1회씩 온라인 회의를 통해 포괄적인 검토에 대한 의견을 수렴하여 13개의 지표 선정 및 평가 측면을 전파력과 심각성으로 결정하였다.

3. 위험도 평가지표의 타당도 및 중요도 평가

전문가 자문회의를 통해 선정된 13개 지표를 대상으로 타당도 평가 및 평가 측면(전파력 및 심각성)에서의 각 지표의 중요도에 따른 우선순위를 정하고자 델파이 조사를 수행하였다. 델파이 조사는 우선순위 도출 및 예측 등과 같이 기존에 알려진 지식 또는 정보가 미흡하거나 객관적인 자료 확보가 어려운 경우 시행한다고 알려져 있으며[22], 반복조사를 통해 전문가의 합의를 이끌어낼 수 있다. 본 델파이 조사는 역학조사관, 감염병 전문의 등으로 신종감염병 대응경험이 있거나 국가기관에서 감염병 자문위원으로 활동하거나 관련 경험이 있는 전문가를 대상으로 하였다. 응답한 총 10명의 전문가 패널은 의사, 대학교수, 보건정책전문가 및 정부관료를 겸하고 있었으며, 대부분이 해당 분야의 10년 이상 종사자였다. 2022년 4월 1일부터 4월 12일까지 온라인 설문지를 통해 총 2회 수행되었으며, 13개 지표의 개념을 설명하고 각 평가지표에 대한 타당도 및 중요도 평가를 요청하였다. 1차 델파이 조사 후, 2차 조사에서는 각 질문의 평균값과 표준편차를 제시하여 재평가하였다.

본 조사에서는 첫째, 타당성 평가에 따른 지표 선정을 하고자 하였다. 이를 위해 지표 평가에 주로 이용되고 있는 SMART 평가기준[23] 및 지표타당도 선행연구[24,25]에 근거하여 타당성 평가기준을 선정하였다. 중요성(위험도 평가와 관련한 지표의 중요성), 측정 가능성(정보 획득 가능 여부 및 정보활용 제약 가능성), 활용성(정책적 지표로서의 활용성), 원인성(정책적 개입을 통한 지표의 변화 가능성), 적시성(국내 유입 전후 위험도 평가시기의 부합 가능성)의 각 항목별로 5점 리커트 척도(전혀 그렇지 않다, 그렇지 않다, 보통, 그렇다, 매우 그렇다)로 지표의 타당성을 측정하고자 질문하였다. 이후 문항 내용 타당도(content validity index, CVI)를 계산하여, 각 지표가 해당 구성 개념을 잘 반영하고 있는지 확인하였다[26]. 본 연구에서는 4점, 5점을 선택한 응답자 수(n_a)를 전체 응답자 수(n)로 나누어 각 항목에 대한 CVI를 도출하였으며($CVI=n_a/n$), 기준 점수는 0.7로 설정하였다[27].

둘째, 모든 지표가 동등한 수준의 중요성을 갖고 있지 않기 때문에, 전파력(transmissibility)과 심각성(severity)의 측면으로 나누어 지표의 중요도를 확인하고자 질문하였다. 전파력은 바이러스 및 원인균이 갖고 있는 특성 및 감염력을 나타내며, 심각성은 질병의 위험성, 피해, 미치는 영향을 나타낸다. 평가지표가 각 평가 측면을 측정하는 데 있어서 얼마나 중요도를 갖는지 10점 척도(매우부정: 1점, 매우 긍정: 10점)로 평가하였으며, 이후 응답 평균점수가 높은 순서로 우선순위를 선정하였다.

4. 위험도 평가지표의 척도 선정

각 평가지표의 위험수준을 나타내기 위한 점수 척도를 구성하고자 하였다. 감염병 위기상황은 공중보건에 있어서 중요한 문제로, 위기 상황을 민감하게 평가하고자 10점 척도를 사용하였다. 또한 감염병 위기의 신속한 대응을 위해, 각 평가지표를 빠르게 평가하는 동시에 결과값이 안정화될 수 있도록 점수구간을 low (1-3점), moderate (4-7 점), high (8-10점)의 3개의 범위로 나누고 각 단계 내에서 세부점수를 조절할 수 있도록 하였다. 또한 각 구간별로 평가기준을 미리 설정하여 실제 활용 시 응답자가 최대한 객관화된 기준으로 평가할 수 있도록 하였다. 평가척도의 세부기준은 해외 위험도 평가방법 중 CDC의 PSAF [19], WHO의 TIPRA [17]와 위험도 평가방법 선행연구를 기반으로 재구성하였다[28,29].

5. 위험도 평가점수 산출방법 도출

위험도 평가에 따른 최종 점수 산출방법을 도출하고자 하였다. 전문가 델파이 조사를 통해 얻은 각 평가 측면별 평가지표의 중요도 결과값에 따른 우선순위에 따라 가중치 값을 설정하였다. 각 측면에서 중요도 점수가 높은 순위부터 가중치 값이 높게 설정되었으며 10개 지표의 가중치 합은 1이 된다. 가중치 계산식은 $W_k = \left(\frac{1}{K}\right) \sum_{i=k}^K \left(\frac{1}{i}\right)$ 이며, $W_1 = (1 + 1/2 + 1/3 + \dots + 1/K)/K$, $W_2 = (0 + 1/2 + 1/3 + \dots + 1/K)/K$, $W_3 = (0 + 0 + 1/3 + \dots + 1/K)/K$, ..., $W_k = (0 + 0 + 0 + \dots + 0 + 1/K)/K$, W_k 는 순위에 따른 가중치 값, K 는 지표의 수, i 는 우선순위를 나타낸다[30].

평가 측면별 위험도 평가점수 결과를 통해 최종 위험도를 결정하기 위한 방법을 모색하고자 하였다. 최종 위험도 결과에 따라 감염병 대응방법이 달라지기 때문에 이는 위험도 평가과정에서 가장 중요하다. 이를 위해 WHO의 STAR [12] 및 ECDC의 RRA [8]에서 사용하는 매트릭스 방법, WHO의 TIPRA [13]와 CDC의 IRAT [14]에서 활용된 위험도 평가방법인 좌표평면 방법, ECDC의 RRA [8], WHO의 STAR [12], HAIRS 그룹의 processes of risk assessment [16]에서 활용된 알고리즘을 통한 위험도 결정방법을 비교하고 최종 위험도 결정방법을 선정하였다.

6. 위험도 결정방법 도출

위험도 평가에 따른 최종 점수 산출방법을 도출하고자 하였다. 전문가 델파이 조사를 통해 얻은 각 평가 측면별 평가지표의 중요도 결과값에 따른 우선순위에 따라 가중치 값을 설정하였다. 각 측면에서 중요도 점수가 높은 순위부터 가중치 값이 높게 설정되었으며 10개 지표의 가중치 합은 1이 된다. 가중치 계산식은 $W_k = \left(\frac{1}{K}\right) \sum_{i=k}^K \left(\frac{1}{i}\right)$ 이며, $W_1 = (1 + 1/2 + 1/3 + \dots + 1/K)/K$, $W_2 = (0 + 1/2 + 1/3 + \dots + 1/K)/K$, $W_3 = (0 + 0 + 1/3 + \dots + 1/K)/K$, ..., $W_k = (0 + 0 + 0 + \dots + 0 + 1/K)/K$, W_k 는 순위에 따른 가중치 값, K 는 지표의 수, i 는 우선순위를 나타낸다[30].

7. 위험도 평가모델 검증

COVID-19, 신종 인플루엔자 A (H1N1), MERS, EVD를 대상으로 국내 첫 확진자 발생 후 발표된 질병의 정보를 각 지표별로 수집하였다. 개발된 모델을 평가하기 위해 의생명과학, 보건학, 수의학 등을 전공하고 10년 이상 관련 연구 경력을 지닌 학계 및 임상교수 3명에게 4개 감염병에 대해 10개 위험도 평가지표의 수집 정보를 송부하고 전

Table 1. Potential risk elements for infectious disease risk assessment

No.	Risk elements	Explanation
1	Routes of transmission	Identification of disease frequency level in consideration of infection method (droplet infection, airborne infection, contact infection, zoonotic infection, etc.) and vector type (food, waterborne, air, etc.) [8]
2	R0: basic reproductive number	The average number of secondary infections that can be caused by a patient in a fully susceptible population throughout the period of infection [32,33]
3	Receptor binding and mutation	The likelihood of infection depending on the host preference of the virus (e.g., animals or humans) in the disease and the tissue and cell types (e.g., nasal tissue and cells vs. lung tissue and cells) most suitable for infection [17]
4	No. of new infections	Number of new infections of the infectious disease [20,21]
5	Household secondary attack rate	Rate of outbreaks due to secondary transmission of infectious diseases within households [19]
6	Proportion of asymptomatic infections	Proportion of people who do not develop symptoms even after the incubation period of the infectious disease has passed [34]
7	Serial interval	Time difference between the onset of symptoms of the first infectious disease and the onset of symptoms of the second infectious disease [35]
8	No. of inbound people from infected country	Number of all persons who inbound the country from countries infected with the infectious disease
9	Case-fatality ratio	Proportion of deaths among those diagnosed with the infectious disease [8,21]
10	Susceptible population	Proportion of the population vulnerable to the disease (e.g., specific age group, underlying disease) [8,16]
11	No. of negative pressure isolation beds	Number of negative pressure isolation beds that can accommodate patients with the disease [21,36]
12	Availability and resistance of therapeutic agents	Confirmation of the development and availability of antiviral drugs the infectious disease [17,18]
13	Availability of vaccine/diagnostic kits	Confirmation of the degree of development and availability of vaccines and diagnostic kits for the infectious disease [18]

The concept of risk elements was reconstructed from the cited studies. Modified from Korea Disease Control and Prevention Agency. Development of advanced risk assessment for future public health crisis. Cheongju: Korea Disease Control and Prevention Agency, 2022 [37].

Table 2. Validity evaluation results for all risk elements considered

Risk elements	Importance	Measurability	Usefulness	Attribution	Timeliness
Routes of transmission	4.4±0.8	4.2±0.6	4.6±0.5	2.1±1.1	4.6±0.5
RO: basic reproductive number	4.7±0.5	3.8±0.6	4.7±0.5	3.6±0.8	4.6±0.5
Receptor binding and mutation	3.4±0.7	2.5±0.7	3.0±0.5	1.6±0.7	2.8±0.6
No. of new infections	4.2±0.6	3.9±0.7	4.1±0.7	4.2±0.4	4.1±0.7
Household secondary attack rate	3.7±0.5	3.4±1.1	3.4±0.7	2.9±0.7	3.4±1.0
Proportion of asymptomatic infections	3.7±0.7	2.8±0.4	3.3±0.7	2.6±1.0	3.1±0.7
Serial interval	3.4±0.5	3.2±0.6	3.3±0.7	2.1±0.6	3.1±0.7
No. of inbound people from infected country	2.7±0.7	3.5±1.0	3.2±0.9	3.2±0.6	3.6±0.5
Case-fatality ratio	4.7±0.5	4.0±0.7	4.3±0.5	3.7±0.8	4.5±0.5
Susceptible population	3.8±0.4	3.6±0.5	3.7±0.5	2.9±0.7	3.5±0.9
No. of negative pressure isolation beds	3.2±0.8	3.9±0.7	3.8±0.6	3.8±0.8	3.2±1.0
Availability and resistance of therapeutic agents	3.8±0.9	3.1±0.6	4.0±0.7	3.6±0.5	3.7±0.5
Availability of vaccine/diagnostic kits	4.1±0.6	3.4±0.5	4.2±0.6	3.9±0.6	3.8±0.4

Values are presented as mean±standard deviation. Modified from Korea Disease Control and Prevention Agency. Development of advanced risk assessment for future public health crisis. Cheongju: Korea Disease Control and Prevention Agency; 2022 [37].

Table 3. Risk elements importance ranking and weight by evaluation perspectives

Risk elements	Transmissibility			Severity		
	Mean±SD*	Rank†	Weight‡	Mean±SD	Rank	Weight
Routes of transmission	9.50±0.71	1	0.293	9.30±1.06	1	0.293
RO: basic reproductive number	9.10±0.74	2	0.193	8.90±0.88	2	0.193
No. of new infections	8.00±0.94	5	0.085	8.40±0.84	5	0.085
Household secondary attack rate	6.63±1.65	9	0.021	6.63±1.71	9	0.021
No. of inbound people from infected country	7.25±1.16	7	0.048	6.60±1.07	10	0.010
Case-fatality ratio	8.60±1.26	3	0.143	8.80±1.48	3	0.143
Susceptible population	7.10±1.37	8	0.034	7.50±1.58	7	0.048
No. of negative pressure isolation beds	6.13±2.42	10	0.010	7.30±1.89	8	0.034
Availability and resistance of therapeutic agents	7.30±1.83	6	0.065	8.10±1.29	6	0.065
Availability of vaccine/diagnostic kits	8.20±1.62	4	0.110	8.60±1.26	4	0.110

Modified from Korea Disease Control and Prevention Agency. Development of advanced risk assessment for future public health crisis. Cheongju: Korea Disease Control and Prevention Agency; 2022 [37].

SD, standard deviation.

*The mean±SD of the values evaluated by experts on the importance of each risk elements. †Priority according to importance mean value (1st to 10th). ‡Weight value of risk elements according to priority.

파력 및 심각성 측면별 위험도 평가를 서면으로 요청하였다. 이후 평가결과를 위험도 평가점수 산출방법으로 계산 후 위험도를 결정하고, 해당 질병의 국내 유입 시점의 정부 위기경보 등급(관심, 주의, 경계, 심각)과 비교하여 일치도를 평가하고자 하였다[31].

의 지표를 선정하였다. 위험도를 평가하기 위한 측면은 전파력(바이러스/원인균이 갖고 있는 특성 및 감염력)과 심각성(질병으로 인한 위험성, 피해, 미치는 영향)으로 나누었다(Table 1) [8,16-21,32-37].

결 과

1. 위험도 평가지표 및 평가 측면

전문가 자문회의 결과 수립 및 보완하여 위험도 평가를 위한 13개

2. 위험도 평가지표의 타당도 및 중요도

전문가 델파이 조사결과, 첫째, 지표 선정 및 타당성 평가결과로 문항 CVI 값이 다수 영역에서 0.7 미만인 3개의 지표(수용체 결합 및 유전자 변이, 무증상감염자 비율, 세대기간)를 삭제하여 최종 10개 지표(감염매개유형, 기초 감염재생산지수, 해당 질병의 신규 감염자 수, 가구 내 2차 발병률, 유행국가 발 입국자 수, 치명률, 취약인구집단, 음

압/격리 병상 수, 치료제 활용 가능성과 내성, 백신/진단키트의 활용 가능성)를 선정하였다(Table 2) [37]. 둘째, 전파력 및 심각성의 측면별로 지표의 우선순위를 선정하고자, 해당 지표가 각 측면을 측정하는 데 있어서 갖는 중요도에 대한 응답결과를 산출하고 평균에 따라 순위를 정하였다(Table 3) [37].

3. 위험도 평가지표의 척도

최종 선정된 10개의 위험도 평가지표를 평가척도에 따라 전파력과 심각성의 측면별로 평가할 수 있다(Table 4) [17,19,28,29,37]. 각 지표의 실제 수치정보를 근거로 위험도의 낮음(1-3점), 중간(4-7점), 높음(8-10점) 기준에 맞게 10점 척도로 점수를 정량 평가할 수 있다. 유행 국가발 입국자 수, 치료제 활용 가능성과 내성, 백신/진단키트의 활용 가능성 지표는 전문가가 해당 지표에 대해 질적 판단하여 정성 평가 기준을 참고하여 평가점수를 부여할 수 있다. 다만 정량 평가시 지표값의 불확실성(uncertainty)이 높아 신뢰하기 어렵다고 판단하는 경우, 전문가가 본인의 경험, 판단근거를 충분히 제시 후 정해진 점수 척도범위 외의 값으로 평가할 수 있다.

4. 위험도 평가점수

최종 선정된 10개 지표에 가중치 계산식에 따라 상위 1순위는 0.293, 10순위는 0.010의 가중치 값을 부여하였다(Table 5). 위험도 평가점수는 전문가들이 척도에 따라 평가한 결과값을 전파력과 심각성의 측면별로 각 지표의 평균값(mean score)을 구한 후, 해당 지표에 부여된 가중치(weight)와 곱한다[37]. 그 다음 해당 값(평균값×가중치)을 전부 합산하면 전파력, 심각성 측면별로 1-10점의 최종 위험도 평가점수가 도출된다.

5. 위험도 결정방법

최종 위험도 결정방법으로 매트릭스 및 좌표평면 값을 활용하여 위험수준을 결정하고자 한다. 각 측면의 최종 위험도 평가점수에 따라 x축에 전파력, y축에 심각성을 매트릭스에 나누고 위험 수준을 낮음(low), 중간(moderate), 높음(high)으로 최종 위험도를 결정할 수 있다(예시 값의 경우 전파력: 8.53, 심각성: 8.80으로 종합위험도 '높음[high]'에 해당) (Figure 2) [37]. 또한 실제 활용 시, 좌표평면에 x축에 전파력, y축에 심각성의 위험도 점수를 나타내고 매 위험평가시 감염병의 위험 수준의 변화를 확인한다(Figure 3) [37]. 본 측면은 TIPRA를 참조하여 재구성하였다[17]. 이를 통해 감염병 위험도에 대한 시계열적인 분석 및 판단이 가능하며 향후 위험도를 가능해볼 수 있다. 또한 현재 유행하는 신종감염병과 유사하다고 판단되는 기존의 감염병

과 유행시기 및 위험도 등을 비교함으로써 질병의 유사성 및 위험경로를 예측하는 데에 도움이 될 수 있다.

6. 위험도 평가모델 검증

개발된 위험도 평가도구를 검증하기 위해 신종감염병 중 COVID-19, 신종 인플루엔자 A (H1N1), MERS, EVD를 대상으로 감염병의 국내 첫 확진자 발생 후 초기값을 기준으로 질병의 정보를 수집하여, 전문가에게 평가하도록 요청하였다. 4개 감염병의 위험도 평가결과, COVID-19(전파력: 7.39, 심각성: 7.25), 신종 인플루엔자 A (H1N1) (전파력: 5.90, 심각성: 5.79), MERS(전파력: 6.33, 심각성: 6.32), EVD(전파력: 5.92, 심각성: 6.78)의 최종 매트릭스 위험수준 평가결과 중간단계의 위험수준을 나타냈다(Table 6) [37]. 각 감염병의 국내 유입 초기, 정부의 해당 시기의 위험도 평가결과는 총 4단계 중 3단계를 나타내는 '주의 단계'로, 본 위험도 평가결과 값과 동일하게 중간단계의 결과를 보여 일치도를 나타냈다.

7. 실제 위험도 평가모델 사용방법

해당 위험도 평가방법을 실제로 적용하기 위한 과정은 다음과 같다 [17,18]. 1단계로 질병감시를 통해 모니터링 과정에서 이상징후가 포착된 평가할 감염병 선택한다. 2단계로 해당 감염병의 최근 현황 등 기초자료를 마련한 후, 3단계로 개발된 위험도 평가방법을 활용하여 각 지표에 대한 위험도 평가 및 판단근거를 요청한다. 4단계로 전문가로부터 위험 평가결과와 근거를 회수하여 신뢰 정도를 확인할 수 있으며 평가점수와 근거를 요약한다. 5단계로 전문가의 평균점수 및 가중치 계산을 통해 전파력과 심각성에 따른 위험도 평가결과를 산출하여 평가에 참여한 전문가들 및 관련 부서 간의 평가회의를 진행하여 최종 결정을 내린다. 이때 위험도 평가척도는 타 국가의 지표 및 수치를 참고하여 판단 가능하며, 실제 평가시 각 지표값의 불확실성이 높아 신뢰하기 어렵다고 판단하는 경우, 전문가가 경험, 판단근거를 충분히 제시 후 정해진 점수척도 범위 외의 값으로 평가할 수 있다. 6단계로 위험평가보고서를 마련하고 이해관계자들 간 결과를 공유하고 이후 마지막 단계로 다음 위험도 평가시기를 결정하고 모니터링을 한다.

고 찰

본 연구에서는 WHO 및 유럽, 미국, 영국, 독일에서 사용되고 있는 감염병 위험도 평가방법을 검토한 후, 정량적 및 정성적 평가의 병행을 통해 불확실성을 낮춘 국내 감염병 위험도 평가방법을 개발하고자

Table 4. Scoring criteria for risk assessment

No.	Risk elements	Range of point estimate*	Risk criteria
1	Routes of transmission [28,29]	Low	Fomite transmission or infected fluids or tissues and vector
		Moderate	Food, water, and direct contact
		High	Air/respiratory droplet and not known or bio terrorism dissemination
2	R0: basic reproductive number [19,29]	Low	<1.3
		Moderate	1.3-1.7
		High	>1.8
3	No. of new infections [19]	Low	<10/100,000
		Moderate	10-100/100,000
		High	>100/100,000
4	Susceptible population [28]	Low	Elderly >65 years
		Moderate	Children & adults 0-65 years
		High	All population
5	Household secondary attack rate [19]	Low	<10%
		Moderate	11%-20%
		High	>20%
6	No. of inbound people from infected countries†	Low, moderate, high	Judgment of the number of people entering from an infected country according to the risk of infectious diseases
		Low	<10%
7	Case-fatality ratio [28]	Moderate	10%-25%
		High	>25%
		Low	>4 beds/1,000 populations
8	No. of negative pressure isolation beds [29]	Moderate	>2-4 beds/1,000 populations
		High	0.1-2 beds/1,000 populations
		Low, moderate, high	<ul style="list-style-type: none"> - No treatment approved for use or virus resistant to one drug - Resistant to one drug and one currently approved for clinical use, but sensitive to all other drugs (resistant virus is a secondary case of human infection or a case of infection between experimental animals) - Viruses that are resistant to one or more antiviral drugs (resistant virus is a secondary case of human infection or a case of infection between experimental animals) - Consideration of the above and qualitative determination of treatment availability is required (the lower the probability of using the treatment, the higher the score)
9	Availability and resistance of therapeutic agents† [17]	Low, moderate, high	<ul style="list-style-type: none"> - No treatment approved for use or virus resistant to one drug - Resistant to one drug and one currently approved for clinical use, but sensitive to all other drugs (resistant virus is a secondary case of human infection or a case of infection between experimental animals) - Viruses that are resistant to one or more antiviral drugs (resistant virus is a secondary case of human infection or a case of infection between experimental animals) - Consideration of the above and qualitative determination of treatment availability is required (the lower the probability of using the treatment, the higher the score)
10	Availability of vaccine/diagnostic kits† [29]	Low, moderate, high	Qualitative judgment according to the status of vaccine and diagnostic kit development and accessibility for the relevant infectious disease (the lower the availability of the vaccine/diagnostic kit, the higher the score)

The score criteria of risk elements were reconstructed from cited studies. Modified from Korea Disease Control and Prevention Agency. Development of advanced risk assessment for future public health crisis. Cheongju: Korea Disease Control and Prevention Agency, 2022 [37].

*Low (1-3), moderate (4-7), and high (8-10). † Quantitative evaluation based on qualitative judgment.

Table 5. Example of evaluation score calculation method by weight of risk element

Risk elements	Transmissibility			Severity			
	Wt	Experts' evaluation points A B C	MS= (A+B+C)/3	RS= Wt×MS	Experts' evaluation points A B C	MS= (A+B+C)/3	RS= Wt×MS
Routes of Transmission	0.293	8.0 9.0 10.0	9.0	2.64	8.0 10.0 10.0	9.3	2.73
R0: basic reproductive number	0.193	6.0 10.0 10.0	8.7	1.67	8.0 10.0 10.0	9.3	1.80
No. of new infections	0.085	8.0 9.0 8.0	8.3	1.19	8.0 10.0 8.0	8.7	1.24
Household secondary attack rate	0.021	8.0 9.0 8.0	8.3	0.91	8.0 10.0 8.0	8.7	0.95
No. of inbound people from infected country	0.048	8.0 9.0 8.0	8.3	0.70	8.0 8.0 8.0	8.0	0.68
Case-fatality ratio	0.143	7.0 10.0 8.0	8.3	0.54	7.0 8.0 8.0	7.7	0.49
Susceptible population	0.034	6.0 9.0 8.0	7.7	0.37	7.0 8.0 9.0	8.0	0.38
No. of negative pressure isolation beds	0.010	9.0 8.0 7.0	8.0	0.27	8.0 8.0 8.0	7.7	0.26
Availability and resistance of therapeutic agents	0.065	8.0 8.0 7.0	7.7	0.16	7.0 10.0 9.0	8.7	0.18
Availability of vaccine/diagnostic kits	0.110	7.0 9.0 9.0	6.0	0.07	6.0 10.0 10.0	8.7	0.09
Final risk assessment score (=sum of RS)			8.53			8.80	

After calculating the average of the risk scores evaluated by experts A, B, and C for the risk elements, the weight and risk score by perspective can be calculated to obtain the final risk assessment score. Modified from Korea Disease Control and Prevention Agency. Development of advanced risk assessment for future public health crisis. Cheongju: Korea Disease Control and Prevention Agency; 2022 [37].
Wt, weight; MS, mean score; RS, risk score.

Table 6. Risk assessment and verification of emerging infectious disease cases

Transmissibility	COVID-19			MERS			EVD
	Wt	Experts' evaluation points A B C	MS= (A+B+C)/3	Wt	Experts' evaluation points A B C	MS= (A+B+C)/3	
Routes of transmission	2.93	2.25	2.15	2.15	2.15	1.86	1.86
R0: basic reproductive number	1.61	1.41	1.16	1.16	1.16	1.29	1.29
Case-fatality ratio	0.43	0.24	1.14	1.14	1.14	1.43	1.43
Availability of vaccine/diagnostic kits	0.62	0.44	0.51	0.51	0.51	0.47	0.47
No. of new infections	0.56	0.51	0.37	0.37	0.37	0.14	0.14
Availability and resistance of therapeutic agents	0.39	0.19	0.52	0.52	0.52	0.34	0.34
No. of inbound people from infected country	0.43	0.38	0.19	0.19	0.19	0.06	0.06
Susceptible population	0.24	0.26	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
Secondary attack rate, household	0.13	0.15	0.08	0.08	0.08	0.11	0.11
No. of negative pressure isolation beds	0.06	0.07	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07
Risk score	7.39	5.90	6.33	6.33	6.33	5.92	5.92
Severity							
Routes of transmission	2.83	2.25	2.05	2.05	2.05	2.15	2.15
R0: basic reproductive number	1.61	1.41	1.22	1.22	1.22	1.54	1.54
Case-fatality ratio	0.48	0.24	1.14	1.14	1.14	1.38	1.38
Availability of vaccine/diagnostic kits	0.58	0.37	0.44	0.44	0.44	0.51	0.51
No. of new infections	0.56	0.48	0.37	0.37	0.37	0.23	0.23
Availability and resistance of therapeutic agents	0.43	0.24	0.52	0.52	0.52	0.39	0.39
Susceptible population	0.34	0.37	0.26	0.26	0.26	0.22	0.22
No. of negative pressure isolation beds	0.21	0.24	0.20	0.20	0.20	0.24	0.24
Secondary attack rate, household	0.12	0.13	0.09	0.09	0.09	0.11	0.11
No. of inbound people from infected country	0.09	0.08	0.04	0.04	0.04	0.01	0.01
Risk score	7.25	5.79	6.32	6.32	6.32	6.78	6.78
Final risk assessment level by our study	Moderate	Moderate	Moderate	Moderate	Moderate	Moderate	Moderate
National risk assessment level announced by the government	Alert level 2	Alert level 2	Alert level 2	Alert level 2	Alert level 2	Alert level 2	Alert level 2
Consistency	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes

The consistency was confirmed by comparing the risk level derived by the method proposed in this study with the actual National risk assessment level announced by the government of South Korea. Modified from Korea Disease Control and Prevention Agency. Development of advanced risk assessment for future public health crisis. Cheongju: Korea Disease Control and Prevention Agency; 2022 [37].
COVID-19, coronavirus disease 2019; MERS, Middle East respiratory syndrome; EVD, Ebola virus disease.

Severity \ Transmissibility	Low (1-3 point)	Moderate (4-7 point)	High (8-10 point)
Low (1-3 point)	Low	Moderate	Moderate
Moderate (4-7 point)	Moderate	Moderate	High
High (8-10 point)	Moderate	High	High

Figure 2. Example of risk assessment matrix. Modified from Korea Disease Control and Prevention Agency. Development of advanced risk assessment for future public health crisis. Cheongju: Korea Disease Control and Prevention Agency; 2022 [37].

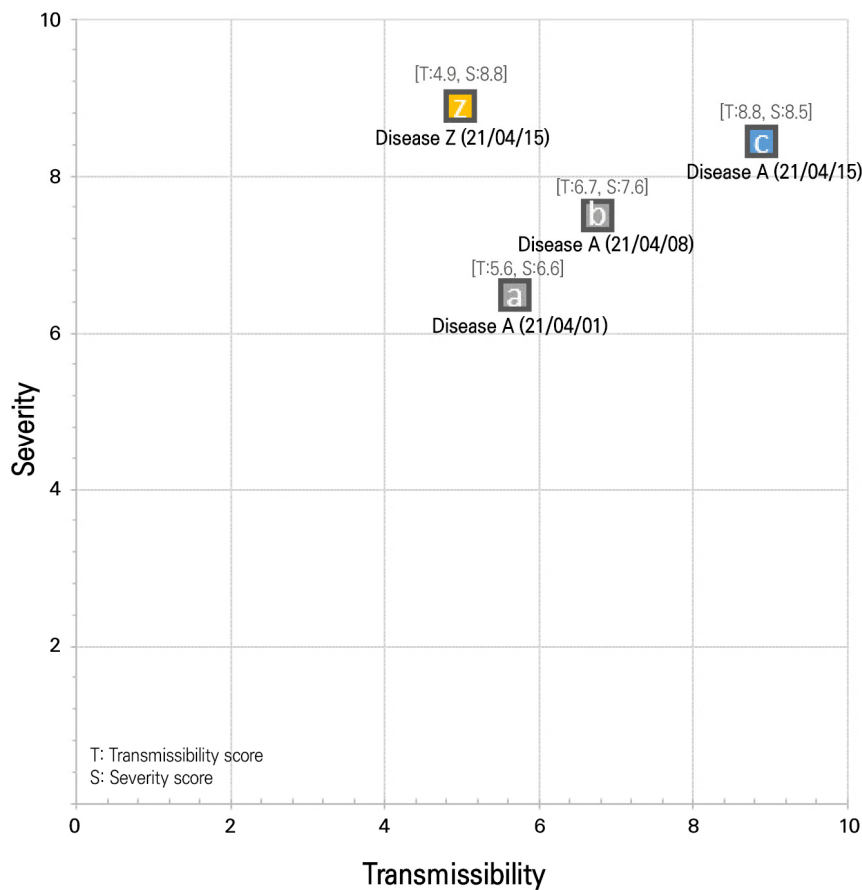


Figure 3. Examples of transmissibility and severity risk levels. If a risk assessment was made for any infectious disease A, trends could be identified by indicating 1 April 2022 (T 5.6, S 6.6), 8 April 2022 (T 6.7, S 7.6), and 15 April 2022 (T 4.9, S 8.8). Possible to cope with the future through the value of the infectious disease Z, which is judged to be similar to the infectious disease A. Modified from Korea Disease Control and Prevention Agency. Development of advanced risk assessment for future public health crisis. Cheongju: Korea Disease Control and Prevention Agency; 2022 [37].

하였다. 개발한 위험도 평가도구는 신종감염병 위기대응에 특화된 주요 평가지표 10개를 전파력과 심각성 측면에서 평가척도에 따라 양적 평가하며 부분적으로 전문가의 질적 평가를 병행하는 방법을 활용

하였다. 이때 위험도 평가점수는 10점 척도를 사용하여 점수구간에 따른 세부적인 위험도 평가가 가능하다. 이후 최종 위험도평가 결과를 매트릭스 및 좌표평면에 나타내어 신속하게 대응단계를 결정할 수

있다.

WHO 및 해당 국가는 자체적으로 개발한 평가도구로 위험도 평가를 수행한다. WHO의 STAR [12], ECDC의 RRA [8]에서는 주로 전문가의 질적 평가방식을 활용하였으며, 이외에는 양적 데이터를 기반으로 한 평가를 수행하였다. 질적 평가를 활용한 STAR [12]는 광범위한 분야에 대한 위험요인으로부터 일어날 수 있는 시나리오를 단기와 중·장기로 나누고 심각성, 취약성, 국가역량을 평가한 결과로 영향력을 도출하였다. 영향력(무시 가능-치명)과 발생 가능성(거의 희박-거의 확실)을 매트릭스를 통해 다섯 단계의 위험도 수준으로 판단하며 이에 따라 대응방법을 결정하였다. RRA [8]는 전파 가능성, 질병의 심각도에 해당하는 질문에 대한 알고리즘을 통해 전문가가 판단하며 최종 위험도 결정은 매트릭스로 신속하게 결정을 내렸다. 양적 데이터를 기반으로 평가한 CDC의 PSAF [15]는 전파력(발병률, 면역력, 바이러스 특성 등)과 임상중증도(치명률, 사망률 등)의 값을 근거로 두 단계(low-moderate, moderate-high)로 평가하며, 이후 정보가 축적되었을 때 5점 또는 7점 척도로 평가하였다. TIPRA [13] 및 IRAT [18]는 바이러스 속성, 인구 속성, 생태학 및 역학 영역의 지표 정보를 토대로 전문가가 10점 척도로 평가하며, 우선순위에 따른 가중치를 계산하여 최종 위험도 평가를 산출하였다.

치명률은 WHO 및 해당 국가의 위험도 평가도구에서 가장 많이 활용된 평가지표였다. 치명률은 확진자 중 사망자의 비율을 나타내며 질병 위험성을 나타내는 대표적인 지표이다. 특히 신종감염병에 대한 세부 정보는 단시간 내 알기 어렵기 때문에 치명률의 우선 추정 필요하며[38], 이에 따른 대응이 필요하다. COVID-19 초기, 중국 우한시 치명률은 17.3%로 나타났으나 지역봉쇄 및 대처를 통해 지속적으로 감소할 수 있었다[32].

한편, 해외 위험도 평가에서는 사용하지 않았으나 본 연구에 포함된 지표는 유행국가 발 입국자 수이다. 본 지표는 해당 감염병이 유행하는 국가에서 한국으로 입국하는 사람의 수를 나타낸다. EVD는 본래 아프리카의 풍토병이었으나 여행객을 통해 일주일 만에 전세계에 전파되었으며, 사우디아라비아에서 발생한 MERS 역시 방문객을 통해 국내 확산되어 큰 피해를 남겼다[33]. 따라서 국가 간 교류는 국가 내 감염병을 확산시킬 수 있기 때문에, 유행국가 발 입국자 수는 잠재적 지표로써 향후 감염병 확산의 단초로 고려될 수 있다.

최종 위험도 결정방법은 매트릭스 및 좌표평면을 활용하였다. 매트릭스는 평가 측면에 대한 점수를 구간으로 나누어 정량화할 수 있으며, 전파력과 심각성을 동시에 고려하여 최종 위험도를 산출할 수 있는 장점이 있다. STAR [12] 및 RRA [8]에서도 본 연구와 같은 방식으로 최종 위험(매우 높음-매우 낮음) 결정을 위해 위험요인의 영향력과 발생 가능성을 매트릭스화하여 활용하였다. 좌표평면은 TIPRA

[13] 및 IRAT [14]에서도 출현위험과 영향력을 나타내어 두 측면 간 관계를 나타내는 방식으로 활용되었으며, 반복 평가 시 시계열적 개인 및 비교가 가능하여 효과적으로 평가결과를 나타낼 수 있어 본 연구에서도 활용되었다. 이외에 WHO 및 일부 국가에서 사용된 방법은 알고리즘을 통한 위험도 결정이었다[8,12,16]. 위험수준을 확인하기 위해 질문에 순서대로 응답하고 선택에 따라 위험도 평가를 진행하기 때문에 속도가 빠르다는 장점이 있으나 예/아니오로 응답해야 하기 때문에 감염병 대응 시 다양한 고려사항들을 반영하기에 미흡하다고 판단하여 활용하지 않았다.

WHO에 따르면, 신속위험평가는 일반적으로 사건 발생 후 48시간 이내에 수행되어야 한다[11]. 그러나 본 연구의 전문가 회의를 통한 의견수렴 결과, 초기 감염병 발생 시 사용할 수 있는 정보가 매우 제한적이므로 불확실성이 높아 현실적으로 사건 발생 직후 타당성 있는 신속위험평가가 이루어지기는 쉽지 않다. 따라서 감염병의 확산 후에도 신종감염병에 대한 추가 정보를 지속적으로 수집해야 한다. 또한 갱신된 자료를 활용한 반복적 위험평가를 수행하여 전문가 간의 상충된 견해를 줄여야 한다. 이를 통해 확실성을 높인 위험도 평가결과를 도출할 수 있다[34].

위험도 평가결과는 위험도 관리를 위한 커뮤니케이션 시, 판단 자료 및 근거로써 활용되기 때문에 공중보건 대응의 핵심이다[38]. 불확실한 위험 상황을 추측하기 위해 위험지표의 단순 데이터만으로는 의미 파악과 예측이 어렵다. 따라서 위험도 평가과정은 관련 분야의 사결정자 및 다학제적 전문가가 함께 논의해야 하며, 이해관계자의 동의와 조정이 수반되어야 한다. 이를 통해 위험도 평가도구는 공중보건위기를 해결하기 위한 시스템의 장치로써 활용될 수 있다[13].

본 연구는 실제 감염병 위험평가 수행 및 검증을 거쳤으며 실제 위험도 평가모델의 사용방법을 제안하였다. 이는 향후 신종감염병의 국내유입 시 본 위험도 평가의 사용 가능성을 나타낸다. 또한 국내 첫 학술연구로 감염병 위험도 평가도구 개발을 위한 기초자료로 활용될 수 있다. 그러나 본 위험도 평가도구는 질병의 정보가 불확실한 감염병 유입초기에 평가초점이 맞춰져 있다는 한계가 있다. 환자사례 및 연구를 통해 감염병 정보를 구체적으로 파악하고 나면 질병 특성에 맞는 지표를 보완하여 위험도 평가를 수행해야 하며, 향후 이에 대한 후속연구가 이루어져야 한다.

결론적으로, 신종 및 재출현 감염병의 위기대응을 위해 개발된 본 위험도 평가방법은 전파력과 심각성 측면에서 감염병 위험도 평가지표를 정량적 및 정성적으로 평가한다. 최종 위험도 평가결과는 위험도 매트릭스 및 좌표평면에 나타내어 위험도 수준에 따른 신속한 대응이 가능하다.

이해상충

이 연구는 질병관리청의 지원을 받아 미래 공중보건위기 대비 위험도 평가 고도화 연구(과제번호: 2021-03-05)를 수행하고 결과보고서를 재구성하여 작성하였다. 이외에 이 연구에 미칠 수 있는 기관이나 이해당사자로부터 재정적, 인적 자원을 포함한 일체의 지원을 받은 바 없으며, 연구윤리와 관련된 제반 이해상충이 없음을 선언한다.

감사의 글

본 연구는 질병관리청의 미래 공중보건위기 대비 위험도 평가 고도화 연구의 일환으로 수행되었으며(과제번호: 2021-03-05), 결과보고서를 재구성하여 작성한 연구이다. 자료 수집과 정리를 도와주신 서울시립대학교 황순열, 현승재 연구원의 기여에 감사를 표한다.

ORCID

Darae Woo: <https://orcid.org/0000-0003-4429-3880>;

Eunmi Choi: <https://orcid.org/0000-0003-2806-7867>;

Youngjune Choe: <https://orcid.org/0000-0003-2733-0715>;

Jungyong Yeh: <https://orcid.org/0000-0002-0939-7783>;

Sangshin Park: <https://orcid.org/0000-0003-2407-0962>

REFERENCES

1. Kim YW. The epidemiology and economic burden of pandemic influenza a(H1N1) 2009 [dissertation]. Seoul: Korea University; 2012.
2. Park MS, Lee D. The spread of MERS-CoV and its impact on the tourism industry [Internet]. Sejong: Korea Institute for Industrial Economics and Trade; 2015 [cited 2022 Jul 7]. Available from: https://www.kiet.re.kr/research/issueView?issue_no=616&sk=&sval=&pg=17&pp=10.
3. World Health Organization. Climate change and health [Internet]. Geneva: World Health Organization; 2021 [cited 2022 Jul 7]. Available from: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/climate-change-and-health>.
4. Hoffman SJ, Silverberg SL. Delays in global disease outbreak re-

- sponses: lessons from H1N1, Ebola, and Zika. *Am J Public Health* 2018; 108(3):329-333. DOI: <https://doi.org/10.2105/AJPH.2017.304245>
5. Hein W. The response to the West African Ebola outbreak (2014-2016): a failure of global health governance. In: Vierck L, Villarreal PA, Weilert AK, editors. *The governance of disease outbreaks: international health law: lessons from the Ebola crisis and beyond*. Baden-Baden: Nomos; 2017. p. 61-82. DOI: <https://doi.org/10.5771/9783845286006-60>
6. Tak S. A review of the US public health emergency preparedness in the context of COVID-19. *Glob Soc Secur Rev* 2020;13:5-20.
7. Sands P, Mundaca-Shah C, Dzau VJ. The neglected dimension of global security: a framework for countering infectious-disease crises. *N Engl J Med* 2016;374(13):1281-1287. DOI: <https://doi.org/10.1056/NEJMSr1600236>
8. European Centre for Disease Prevention and Control. Operational tool on rapid risk assessment methodology. Stockholm: European Centre for Disease Prevention and Control; 2019.
9. World Health Organization. Pandemic influenza risk management: a WHO guide to inform and harmonize national and international pandemic preparedness and response [Internet]. Geneva: World Health Organization; 2017 [cited 2022 Jul 7]. Available from: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/259893>.
10. Goode EJ, Collins S, Hague C, Orford R, Duarte-Davidson R. Rapid public health risk assessments for emerging chemical health threats. In: Duarte-Davidson R, Gaulton T, Wyke S, Collins S, editors. *Chemical health threats: assessing and alerting*. London: The Royal Society of Chemistry; 2019. p. 138-151. DOI: <https://doi.org/10.1039/9781782623687-00138>
11. World Health Organization. Rapid risk assessment of acute public health events [Internet]. Geneva: World Health Organization; 2012 [cited 2022 Jul 7]. Available from: <https://www.who.int/publications/i/item/rapid-risk-assessment-of-acute-public-health-events>.
12. Korea Centers for Disease Control and Prevention. Development of methodology by epidemiology analysis in emerging & unknown infection diseases. Cheongju: Korea Centers for Disease Control and Prevention; 2016.
13. Korea Centers for Disease Control and Prevention. Public health crisis response project result report. Cheongju: Korea Centers for Disease Control and Prevention; 2014.
14. The Korean Society of Infectious Disease. Guidelines for potential emerging infectious diseases in Korea. Seoul: The Korean Society of Infectious Disease; 2018.

15. Hong SH, Hwang JH, An MS, Kim YH, Park JG. Event-based surveillance systems in the Republic of Korea by the emergency operations center. *Public Health Wkly Rep* 2020;13(48):3400-3407.
16. World Health Organization. Strategic toolkit for assessing risks: a comprehensive toolkit for all-hazards health emergency risk assessment [Internet]. Geneva: World Health Organization; 2021 [cited 2022 Jul 7]. Available from: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240036086>.
17. World Health Organization. Tool for Influenza Pandemic Risk Assessment (TIPRA) 2nd edition [Internet]. Geneva: World Health Organization; 2020 [cited 2022 Jul 7]. Available from: [https://www.who.int/publications/i/item/tool-for-influenza-pandemic-risk-assessment-\(tipra\)-2nd-edition](https://www.who.int/publications/i/item/tool-for-influenza-pandemic-risk-assessment-(tipra)-2nd-edition).
18. Centers for Disease Control and Prevention. Influenza Risk Assessment Tool (IRAT) [Internet]. Atlanta (GA): Centers for Disease Control and Prevention; 2020 [cited 2022 Jul 7]. Available from: <https://www.cdc.gov/flu/pandemic-resources/national-strategy/risk-assessment.htm>.
19. Centers for Disease Control and Prevention. Pandemic Severity Assessment Framework (PSAF) [Internet]. Atlanta (GA): Centers for Disease Control and Prevention; 2016 [cited 2022 Jul 7]. Available from: <https://www.cdc.gov/flu/pandemic-resources/national-strategy/severity-assessment-framework.html>.
20. Public Health England. Human Animal Infections and Risk Surveillance (HAIRS) group: processes of risk assessment [Internet]. London: Public Health England; 2018 [cited 2022 Jul 7]. Available from: www.gov.uk/government/publications/hairs-risk-assessment-process.
21. World Health Organization. Pandemic Influenza Severity Assessment (PISA): a WHO guide to assess the severity of influenza in seasonal epidemics and pandemics [Internet]. Geneva: World Health Organization; 2017 [cited 2022 Jul 7]. Available from: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/259392>.
22. Helmer-Hirschberg O. Analysis of the future: the Delphi method. Santa Monica (CA): RAND Corporation; 1967.
23. Doran GT. There's a SMART way to write management's goals and objectives. *Manag Rev* 1981;70(11):35-36.
24. Chung KS. A comparative study among KPI developing methods. *J Korean Soc Qual Manag* 2018;46(4):863-876. DOI: <https://doi.org/10.7469/JKSQM.2018.46.4.863>
25. Lee YS, Seo YB. A study of the Integrated Public Service Evaluation System (IPSES) from a perspective of the evaluation validity. *Korean J Policy Anal Eval* 2015;25(3):171-197. DOI: <https://doi.org/10.23036/kapae.2015.25.3.007>
26. Lynn MR. Determination and quantification of content validity. *Nurs Res* 1986;35(6):382-385. DOI: <https://doi.org/10.1097/00006199-198611000-00017>
27. Amin ME. Social science research: conception, methodology and analysis. Kampala: Makerere University; 2005.
28. Adlam B. Risk assessment tool (DAISY) for emerging human infectious diseases: Health Analysis & Information for Action (HAIFA). Porirua: Environmental Science and Research Limited; 2012.
29. Lesmanawati DA, Veenstra P, Moa A, Adam DC, MacIntyre CR. A rapid risk analysis tool to prioritise response to infectious disease outbreaks. *BMJ Glob Health* 2020;5(6):e002327. DOI: <https://doi.org/10.1136/bmjgh-2020-002327>
30. Edwards W, Barron FH. SMARTS and SMARTER: improved simple methods for multiattribute utility measurement. *Organ Behav Hum Decis Process* 1994;60(3):306-325. DOI: <https://doi.org/10.1006/obhd.1994.1087>
31. Ministry of Health & Welfare; Korea Disease Control and Prevention Agency. Infectious disease disaster risk management standard manual. Sejong: Ministry of Health & Welfare; 2021.
32. Hethcote HW. The mathematics of infectious diseases. *SIAM Rev* 2000;42(4):599-653. DOI: <https://doi.org/10.1137/S0036144500371907>
33. Heymann DL. Control of communicable diseases manual. 19th ed. Washington (DC): American Public Health Association; 2008.
34. Byambasuren O, Cardona M, Bell K, Clark J, McLaws ML, Glasziou P. Estimating the extent of asymptomatic COVID-19 and its potential for community transmission: systematic review and meta-analysis. *J Assoc Med Microbiol Infect Dis Can* 2020; 5(4):223-234. DOI: <https://doi.org/10.3138/jammi-2020-0030>
35. Rai B, Shukla A, Dwivedi LK. Estimates of serial interval for COVID-19: a systematic review and meta-analysis. *Clin Epidemiol Glob Health* 2021;9:157-161. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cegh.2020.08.007>
36. Kim DH. Supply status of negative pressure isolation rooms : focused on the neighborhood unit. *HIRA Policy Brief* 2020;14(2): 29-42.
37. Korea Disease Control and Prevention Agency. Development of advanced risk assessment for future public health crisis. Cheongju: Korea Disease Control and Prevention Agency; 2022.
38. International Organization for Standardization. ISO 31000:2009: risk management: principles and guidelines. Geneva: International Organization for Standardization; 2009.